


Optoelectronic element with DFB grating having a variable coupling coefficient

Patent number: DE4334525
Publication date: 1995-04-13
Inventor: HANSMANN STEFAN DIPL PHYS (DE); HILLMER HARTMUT DR RER NAT (DE)
Applicant: DEUTSCHE BUNDESPOST TELEKOM (DE)
Classification:
- international: H01S3/098; H01S3/085; G02B6/12; G02B27/44; G02F1/295
- european: H01S5/12
Application number: DE19934334525 19931009
Priority number(s): DE19934334525 19931009

Also published as:

 EP0647867 (A1)

Report a data error here

Abstract not available for DE4334525

Abstract of corresponding document: **EP0647867**

1.2. In optoelectronic components which have previously been used, optimum matching of the coupling coefficient to the actual individual case cannot be achieved. The optoelectronic component is to be altered in terms of its structure in such a way that matching of the coupling coefficient to the actual individual case is made possible. 2.2. According to the invention, the entire axial grating (G) of the optoelectronic component is constructed from a multiplicity of individual sections (P), each section (P) consisting in turn of at least one sub-grating field (UG) and at least one grating-free intermediate region (GZ). The sub-grating fields (UG) in this arrangement have different individual lengths ($L_{ug,i}$) and the grating-free intermediate regions (GZ) have different individual lengths ($L_{p,i} - L_{ug,i}$). 2.3. As a result of the grating construction, according to the invention, of the optoelectronic component, the grating coupling coefficient (Λ) can be varied virtually arbitrarily in small steps over part of the axial component length (L).

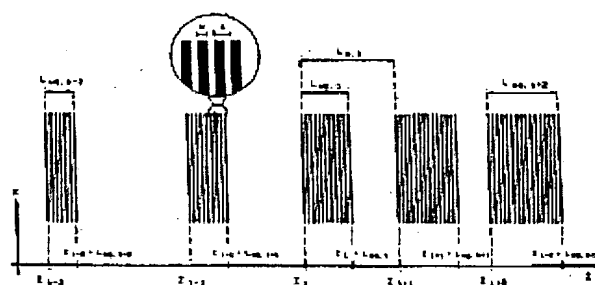


Fig. 1

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 43 34 525 A 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 S 3/098
H 01 S 3/085
G 02 B 6/12
G 02 B 27/44
G 02 F 1/295

②1 Aktenzeichen: P 43 34 525.5
②2 Anmeldetag: 9. 10. 93
④3 Offenlegungstag: 13. 4. 95

⑦1 Anmelder:
Deutsche Bundespost Telekom, 53175 Bonn, DE

⑦2 Erfinder:
Hansmann, Stefan, Dipl.-Phys., 64295 Darmstadt,
DE; Hillmer, Hartmut, Dr.rer.nat., 64287 Darmstadt,
DE

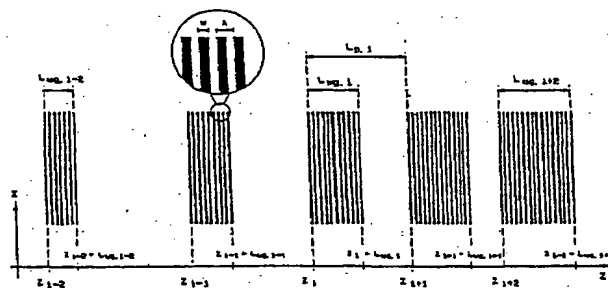
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE	34 45 725 C2
DE	39 34 865 A1
DE	39 15 625 A1
DE	39 12 800 A1
DE	29 15 625 A1
US	52 37 452
US	50 91 916
EP	05 67 406 A1
EP	05 59 192 A2
EP	05 35 859 A1
EP	05 33 485 A1
EP	04 79 279 A2
EP	04 39 236 A1
EP	03 90 614 A1

EP 02 67 667 A2
EP 01 98 380 A2
ISHII, Hiroyuki;
et.al.: Super Structure Grating (SSG) for Broadly
Tunable DBR Lasers. In: IEEE Photonics Technology
Letters, Vol.4, No.4, April 1993, S.393-395;
HAUS, Hermann A.;
LAI, Y.: Narrow-Band Distributed Feedback
Reflector Design. In: Journal of
Lightwave Technology, Vol.9, No.6, June 1991,
S.754-760;
AGRAWAL, Govind P.;
BOBECK, Andrew H.: Modeling of Distributed
Feedback Semiconductor Lasers with
Axially-Varying Parameters. In: IEEE Journal of
Quantum Electronics, Vol.24, No.12, Dec.1988,
S.2407-2414;
ALFERNES, R.C.;
et.al: Narrowband grating resonator filters in
InGaAsP/InP waveguides. In: Appl. Phys.Lett.49, 3,
21.July 1986, S.125-127;
JP 1-270033 A., In: Patents Abstracts of Japan,
P-993, Jan.22, 1990, Vol.14, No.31;

⑤4 Optoelektronisches Bauelement mit verteilter Rückkopplung und variierbarem Kopplungskoeffizienten

⑤7 Bei bisher verwendeten optoelektronischen Bauelementen ist eine optimale Anpassung des Kopplungskoeffizienten an den konkreten Einzelfall nicht zu erreichen. Das optoelektronische Bauelement soll in seiner Struktur so verändert werden, daß eine Anpassung des Kopplungskoeffizienten an den konkreten Einzelfall ermöglicht wird.
Erfindungsgemäß ist das axiale Gesamtgitter (G) des optoelektronischen Bauelements aus einer Vielzahl von einzelnen Sektionen (P) aufgebaut, wobei jede Sektion (P) wiederum aus mindestens einem Untergitter-Feld (UG) und mindestens einem gitterfreien Zwischenbereich (GZ) besteht. Die Untergitter-Felder (UG) weisen dabei unterschiedliche individuelle Längen ($L_{UG,i}$) auf, und die gitterfreien Zwischenbereiche (GZ) weisen unterschiedliche individuelle Längen ($L_{GZ,i}$) auf.
Durch den erfindungsgemäßen Gitteraufbau des optoelektronischen Bauelements läßt sich der Gitter-Kopplungskoeffizient (Λ) in kleinen Schritten über einen Teil der axialen Bauelementlänge (L) nahezu beliebig variieren.



DE 43 34 525 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 95 508 015/274

8/31

DE 43 34 525 A 1

Die erfindungsgemäße Lösung ist in auf DFB- oder DBR-Gittern basierenden optoelektronischen Bauelementen, wie z. B. Lasern, Laser-Verstärkern, Filtern, Kopplern und Schaltern anwendbar.

Bekannt ist eine abrupte Änderung des Kopplungskoeffizienten (K) in longitudinaler Richtung des optoelektronischen Bauelements durch partielle Photolack-Remaskierung nach einer Teilrockenätzung des DFB-Gitters, wie z. B. bei M. Matsuda et al., Conference on InP and related compounds (1991) beschrieben.

Wie bei A. Talneau et al., Electron. Lett. 28, 1395 (1992) ausgeführt, ist eine axiale Variation des Kopplungskoeffizienten K durch die Doppelbelichtung einer auf einer Wafer-Oberfläche aufgetragenen Photolackschicht realisierbar. Der Photolack enthält nach der Doppel-Belichtung die Information zweier sich überlagernder und durchdringender homogener DFB-Gitter, welche sich in ihrer Gitterperiode allerdings um $\Delta\Lambda$ unterscheiden. Dieses Verfahren ermöglicht abhängig von der Wahl von $\Delta\Lambda$ jeweils nur eine vollständig definierte Funktion $K(z)$, sowie genau eine dazu korrespondierende Bauelementlänge L , wenn die Periodizität der Struktur in Hinblick auf hohe Bauelementausbeute genutzt wird. Die Vorteile, welche eine beliebige Änderung $K(z)$ bietet, können mit diesem Verfahren nicht genutzt werden.

Die technische Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Gitterstruktur eines optoelektronischen Bauelements so auszunutzen und reproduzierbar zu verändern, daß das optoelektronische Bauelement bezüglich seines Kopplungskoeffizienten K an den konkreten Einsatzfall optimal angepaßt ist.

Die erfindungsgemäße Lösung basiert auf einem optoelektronischen Bauelement mit DFB- oder DBR-Gitter, welches auf dem Halbleiter-Substrat eine oder mehrere Halbleiter-Schichten enthält. Die Halbleiter-Schicht/en ist/sind derart strukturiert, daß eine optische Rückkopplung entsteht, wobei eine periodische Variation des Realteils oder des Imaginärteils des Brechungsindex oder des Real- und Imaginärteils des Brechungsindex gleichzeitig in axialer Bauelementerichtung z zu verzeichnen ist. Erfindungsgemäß setzt sich das axiale Gesamtgitter G des optoelektronischen Bauelements aus einer Vielzahl einander nachgeordneter einzelner Sektionen P zusammen. Jede Sektion P besteht wiederum aus mindestens einem Untergitter-Feld UG und einem gitterfreien Zwischenbereich GZ . Die Längen der einzelnen Untergitter-Felder $L_{ug,i}$ sind individuell unterschiedlich ausgebildet. Die individuellen Längen $L_{p,i} - L_{ug,i}$ der einzelnen gitterfreien Zwischenbereiche GZ weisen ebenfalls unterschiedliche Beträge aus. Dadurch wird es ermöglicht, daß der Gitter-Kopplungskoeffizient K in axialer Richtung z nicht konstant, sondern über einem Teil der axialen Bauelementlänge L variiert.

Die erfindungsgemäße Lösung wird anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 zeigt anhand einer schematischen Abbildung eine Schnittebene (xz -Ebene) durch die Beugungsgitterebene.

Der maximale Wert des Kopplungskoeffizienten K tritt in jenen Sektionen P auf, in denen das Verhältnis der Länge der Untergitter-Felder $L_{ug,i}$ zu der Länge der Sektion $L_{p,i}$ maximal ist. Das heißt, daß der Kopplungskoeffizient K am größten ist, wenn in der betreffenden Sektion P kein gitterfreier Zwischenbereich GZ mehr

existiert, d. h., wenn $L_{ug,i} = L_{p,i}$ gilt. Diese Abmessungen sind in axialer = longitudinaler Richtung z des optoelektronischen Bauelements definiert, in der auch der optische Wellenleiter des Bauelements verläuft. Im Folgenden wird mit K_0 derjenige Kopplungskoeffizient bezeichnet, der in einem in axialer Richtung z vollständig homogenen axialen Gesamtgitter G mit axial konstanter Gitterperiode Λ , mit axial konstantem Tastverhältnis W/Λ und mit der konstanten Gittergraben-Tiefe a (vertikale Ausdehnung des Gitters), vorliegt.

Der Kopplungskoeffizient K_0 wird durch die laterale und vor allem die vertikale Geometrie der Bauelementstruktur und der Brechungsindizes der einzelnen Halbleiter-Schichten, sowie durch die Gittergraben-Tiefe a und das Tastverhältnis W/Λ bestimmt. Die Stegbreite W des Gesamtgitters G variiert im Bereich $0 < W < \Lambda$. Die Berechnung des Kopplungskoeffizienten K_0 erfolgt nach bekannten Verfahren wie z. B. veröffentlicht durch H. Kogelnik and C. V. Shank, J. Appl. Phys. 43, 2327 (1972).

Der lokale, über eine Sektion P gemittelte Kopplungskoeffizient K_i kann in Abhängigkeit von der lokalen Wahl der Länge des Untergitter-Feldes $L_{ug,i}$ und der Länge der Sektion $L_{p,i}$ im Bereich $K_0 \geq K \geq 0$ variabel festgelegt werden. In Sektionen P ganz ohne Untergitter-Feld UG , liegt der Grenzfall $K_i = 0$ vor. Der entgegengesetzte Grenzfall $K_i = K_0$ findet sich in denjenigen Sektionen P , in welchen keine gitterfreien Zwischenbereiche GZ liegen. Der lokale Kopplungskoeffizient K_i in einer Sektion P läßt sich näherungsweise nach der Gleichung $K_i = K_0 \cdot L_{ug,i}/L_{p,i}$ errechnen. Durch entsprechende Wahl der mathematischen Folge $L_{ug,1}, L_{ug,2}, \dots, L_{ug,i}, \dots, L_{ug,n}$, sowie der dazu korrespondierenden Folge $L_{p,1}, L_{p,2}, \dots, L_{p,i}, \dots, L_{p,n}$, kann der Kopplungskoeffizient von Sektion P ($i=1$) zu Sektion P ($i=n$) in sehr kleinen Schritten nahezu beliebig variiert werden. Es gilt dabei grundsätzlich $0 \leq L_{ug,i} \leq L_{p,i}$, wobei i ganzzahlig im Bereich $0 \leq i \leq n$ läuft.

Die erfindungsgemäße Lösung soll an einigen konkreten Beispielen näher erläutert werden.

Im ersten Beispiel ist die axiale Position des linken Randes der Untergitter-Felder UG in z -Richtung periodisch. Es gilt $z_i = z_1 + (i-1) \cdot L_p$. Dadurch haben alle Sektionen P die gleiche Länge L_p . Die Untergitter-Felder UG weisen jedoch unterschiedliche Längen $L_{ug,i}$ auf.

Ein Zahlenbeispiel zu dieser Ausführungsform: Bauelementlänge $L = 658 \mu\text{m}$, $L = 9,4 \mu\text{m}$, das Bauelement enthält im Gesamtgitter G gerade 70 Untergitter-Felder UG und 70 gitterfreie Zwischenbereiche GZ , $\Lambda = 235 \mu\text{m}$, $W/\Lambda = 0,45$ und $L_{ug,1} = 1,175 \mu\text{m}$. $L_{ug,i}$ steigt mit wachsendem i innerhalb bestimmter Grenzen, jedoch beliebig, in 32 Stufen vom linken Minimalwert $L_{ug,1} = 1,175 \mu\text{m}$ auf den Maximalwert $L_{ug,33} = 9,165 \mu\text{m}$ an und fällt von dort mit wachsendem i in 37 Schritten auf $L_{ug,70} = 0,94 \mu\text{m}$ ab. In diesem Fall variiert der Kopplungskoeffizient K über die axiale Bauelementlänge L ungefähr zwischen K_0 und $0,1 \cdot K_0$.

In einem zweiten Beispiel weisen die Untergitter-Felder UG immer die gleiche Länge L_{ug} auf. In dieser Ausführungsform variieren im Gegensatz zum ersten Beispiel die individuellen Längen $L_{p,i} - L_{ug}$ der gitterfreien Zwischenbereiche GZ von Sektion zu Sektion.

Eine weitere Ausführungsform beruht auf der variablen Ausführung sowohl der Länge der Untergitter-Felder $L_{ug,i}$, als auch der Sektionslängen $L_{p,i}$ und gleichzeitig damit der individuellen Längen $L_{p,i} - L_{ug,i}$ der gitterfreien Zwischenbereiche GZ von Sektion zu Sektion.

Im Folgenden soll die Variation des lokalen Kopp-

lungskoeffizienten $K(z)$ durch eine lokale Variation des Verhältnisses $L_{p,i}/L_{ug,i}$ demonstriert werden. Berechnet werden Emissionsspektren unter Verwendung der Transfermatrix-Methode (siehe z. B. S. Hansmann, IEEE J. Quant. Electron 28, 2589 (92)). Der Betrag der Kopplungskoeffizienten kann in erster Näherung durch die Breite des Stopbandes im DFB-Spektrum (siehe Fig. 2 u. 3) verdeutlicht werden.

In Fig. 2 und 3 sind links je vier Spektren gezeigt, welche zu den korrespondierenden (im Bild rechts abgebildeten) Kopplungskoeffizienten-Verläufen $K(z)$ gehören.

In Fig. 2 wird der Fall der Kopplung über die Variation des Real- und Imaginärteils des vertikalen Brechungsindex in longitudinaler Richtung gezeigt.

In Fig. 3 wird der Fall der Kopplung über die Variation nur des Realteils des Brechungsindex gezeigt. Die Größe des Kopplungskoeffizienten innerhalb eines Gitterbereichs im Fall C und D wird z. B. durch unterschiedliche Gittergradienten a eingestellt.

Der Unterschied zwischen Spektrum A und B (siehe Fig. 2 bzw. Fig. 3) verdeutlicht jeweils die Wirksamkeit der Methode, den Kopplungskoeffizienten über den Einbau gitterfreier Teilbereiche in das Gesamtgitter zu variieren. Die fast vollständige Übereinstimmung der Spektren A, C und D verdeutlicht, daß die Wirkung der verschieden ausgeführten DFB-Gitter in den gezeigten Fällen beinahe identisch ist. Dies demonstriert, daß die Variation von L_p und L_{ug} innerhalb gewisser Grenzen die Variation von K erlaubt, ohne die Wirkung und die spektralen Eigenschaften des DFB-Gitters stark zu modifizieren. Im Falle, daß L_p = konstant und L_{ug} = konstant sind, wie jeweils in den einzelnen Fällen (A – D) in den Fig. 2 und 3, treten durch die vollständige Periodizität der Gitter (bezüglich L_{ug} und L_p) jedoch für bestimmte Werte von L_{ug} und L_p sogenannte Supermoden auf, deren Wellenlängenabstand $\Delta\lambda$ z. B. nach folgender Formel berechnet werden kann

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2 n_{eff} \cdot L_p}$$

Dabei ist λ die Zentralwellenlänge des Bauelements (z. B. die Bragg-Mode des DFB Gitters) und n_{eff} der effektive Brechungsindex der Halbleiterschichtstruktur des Bauelements. Falls diese Supermoden im DFB-Spektrum bei der Anwendung des Bauelements stören sollten, wählt man $L_{ug,i}$ und $L_{p,i}$ derart, daß der Wellenlängenabstand $\Delta\lambda$ der Supermoden größer als der im Bauelement zu nutzende spektrale Bereich (z. B. Breite des Optischen Verstärkungsprofils) ist.

Zahlenbeispiel: Mit $\Delta\lambda > 50 \text{ nm}$, $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, $n_{eff} = 3.25$ ergibt sich $L_{p,T} < 7.5 \mu\text{m}$.

Als untere Grenze ist $L_p > 3\lambda$ anzusetzen.

Im Fall D ist jedoch zu erkennen, daß der wesentliche Teil des Spektrums, d. h. in der Nähe der Bragg-Mode λ , selbst bei $L_p = 15.04 \mu\text{m}$ noch nicht modifiziert ist.

Die Parameter zu den o. a. Rechnungen sind tabellarisch in Fig. 5 aufgeführt.

Fig. 4 zeigt das Beispiel eines Gitterverlaufs, welcher zu einer Variation des Kopplungskoeffizienten zwischen den in lateraler Richtung benachbarten Wellenleitern genutzt werden kann. In axialer Richtung ist in diesem Beispiel das Gitter eines jeden axialen Wellen-

leiters streng periodisch und homogen, so daß der Kopplungskoeffizient in axialer Richtung konstant ist. Auf diese Weise können auf einem Halbleiter-Wafer Bauelemente mit unterschiedlichen Kopplungskoeffizienten realisiert werden unter Beibehaltung z. B. der restlichen geometrischen Parameter und der Prozeßparameter bei der technologischen Realisierung.

Die in der axialen Variation des Kopplungskoeffizienten K enthaltenen Parameter, insbesondere die mathematische Folge $L_{ug,1}, L_{ug,2}, \dots, L_{ug,i}, \dots, L_{ug,n}$, sowie die korrespondierende mathematische Folge $L_{p,1}, L_{p,2}, \dots, L_{p,i}, \dots, L_{p,n}$, sowie ferner Λ , W/Λ , a , die einzelnen Schichtdicken, deren laterale Ausdehnungen und deren Brechungsindizes, können so optimiert werden, daß das optoelektronische Bauelement mit entsprechend der vorgesehenen Bauelemente-Anwendung angepaßten Kenngrößen versehen ist. Für einen Halbleiterlaser können mittels der erfindungsgemäßen Lösung beispielsweise folgende Parameter optimiert oder verbessert werden:

- kleinere Linienbreiten der optischen Emission
- reduziertes spektrales Lochbrennen und damit Verbesserung der longitudinalen Einmoden-Stabilität, sowie das Ermöglichen höherer optischer Leistungen
- Linearisierung der Strom-Leistungskennlinie und Verbesserung der Lichtausbeute
- bessere Hochfrequenzeigenschaften, wie reduzierter Frequenz-Chirp und höhere Grenzfrequenz unter hochfrequenter Modulation
- stabilere longitudinale Einwelligkeit bei hoher Ausgangsleistung
- mögliche Schwellstrom-Erniedrigung der Hauptmode und mögliche Schwellstrom-Erhöhung der Seitenmoden.

Mittels der erfindungsgemäßen Lösung ist eine äußerst präzise Variation des Kopplungskoeffizienten K in axialer Richtung möglich.

Für den Fall, daß zur Gitterdefinition Elektronenstrahl-Lithographie verwendet wird, ergibt sich durch Einsparen von teurer Schreibzeit ein weiterer Vorteil, wenn die in axialer Richtung homogenen Gittern mit den hier vorgeschlagenen, unterbrochenen Gittern vergleicht.

Patentansprüche

1. Optoelektronisches Bauelement mit verteilter Rückkopplung und variierbarem Kopplungskoeffizienten, mit mindestens einer Halbleiter-Schicht, die derart strukturiert ist, daß eine optische Rückkopplung der geführten Lichtwelle entsteht, wobei eine periodische Variation des Realteils oder des Real- und Imaginärteils des Brechungsindex gleichzeitig in axialer Bauelementerichtung existiert, dadurch gekennzeichnet, daß das axiale Gesamtgitter (G) aus einer Vielzahl von einzelnen einander nachgeordneten Sektionen (P) besteht, daß jede Sektion (P) aus mindestens einem Untergitter-Feld (UG) und mindestens einem gitterfreien Zwischenbereich (GZ) besteht, daß die Untergitter-Felder (UG) unterschiedliche individuelle Längen ($L_{ug,i}$) und die gitterfreien Zwischenbereiche (GZ) unterschiedliche individuelle Längen ($L_{p,i} - L_{ug,i}$) aufweisen, so daß der Gitter-Kopplungskoeffizient (K) in axialer Richtung (z) nicht konstant, sondern in

- kleinen Schritten über einem Teil der axialen Bauelementlänge (L) nahezu beliebig variierbar ist.
2. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in axialer Richtung (z) die Länge ($L_{p,i} - L_{ug,i}$) mindestens eines gitterfreien Zwischenbereichs (GZ) an mindestens einer axialen Position des Bauelements gleich Null ist. 5
3. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in axialer Richtung (z) die Länge mindestens eines Untergitter-Feldes ($L_{ug,i}$) an mindestens einer axialen Position des Bauelements gleich Null ist. 10
4. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß durch axiale Veränderung des Tastverhältnisses (W/Λ) der Untergitter-Felder (UG) in longitudinaler Richtung (z) eine örtliche Feinabstimmung des Kopplungskoeffizienten (K) bewirkt wird. 15
5. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Minimum bzw. das Maximum des Kopplungskoeffizienten (K) an jeder beliebigen axialen Position jeder Sektion (P) angeordnet sein kann. 20
6. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Phase zweier beliebiger Gitterfelder gegeneinander in einem Bereich zwischen 0 und 2π verschiebbar ist, so daß Phasenverschiebungen im axialen Gesamtgitter (G) erzeugt oder ausgeglichen werden können. 25
7. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die in lateraler Richtung (x) auf dem Halbleiterwafer nebeneinanderliegenden Sektionen (P), welche zu lateral benachbarten Wellenleitern gehören, in axialer Richtung (z) unterschiedliche Sektionslängen ($L_{p,j}$) und/oder unterschiedliche Längen der Untergitter-Felder ($L_{ug,j}$) und/oder ein unterschiedliches Verhältnis ($L_{p,j}/L_{ug,j}$) aufweisen, so daß der Gitter-Kopplungskoeffizient (K) nicht nur in axialer Richtung (z) variiert, sondern auch zwischen lateral benachbarten Bauelementen auf dem Halbleiterwafer. 30 35 40
8. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß alle Untergitter-Felder (UG) die gleiche Gitterperiode Λ , die gleiche Gittertiefe a und das gleiche Tastverhältnis W/Λ aufweisen. 45

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

- Leerseite -

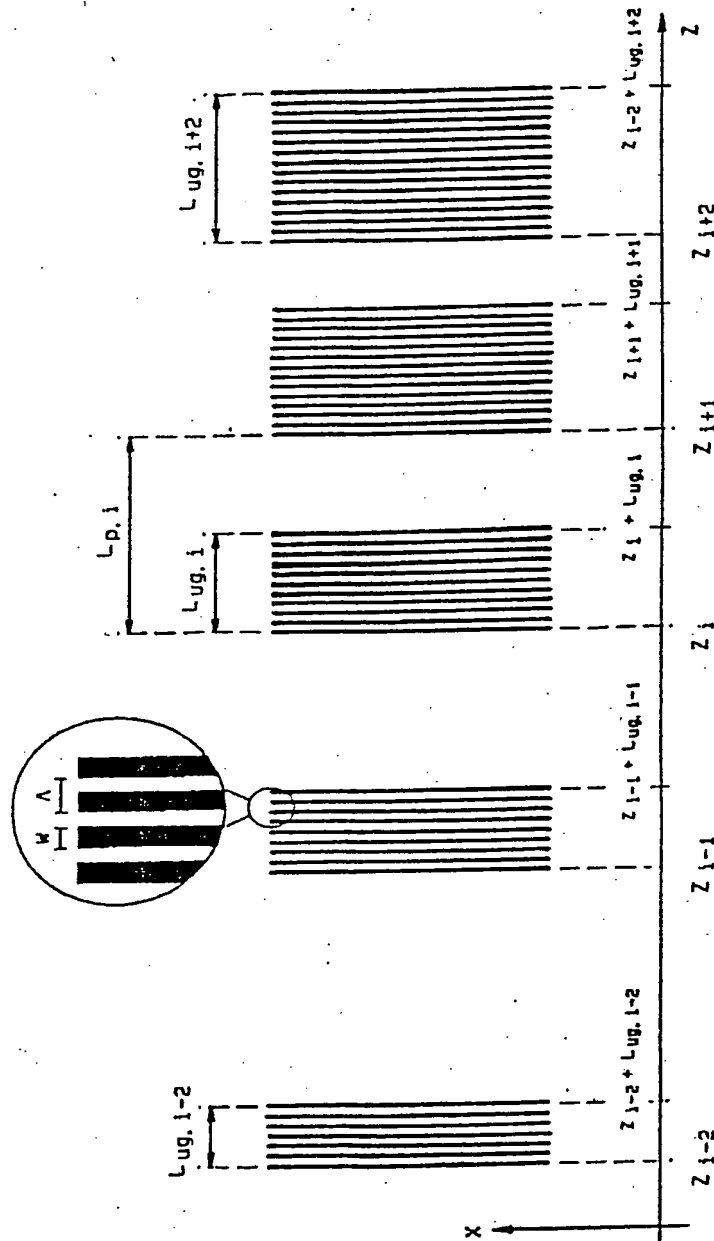


Fig. 1

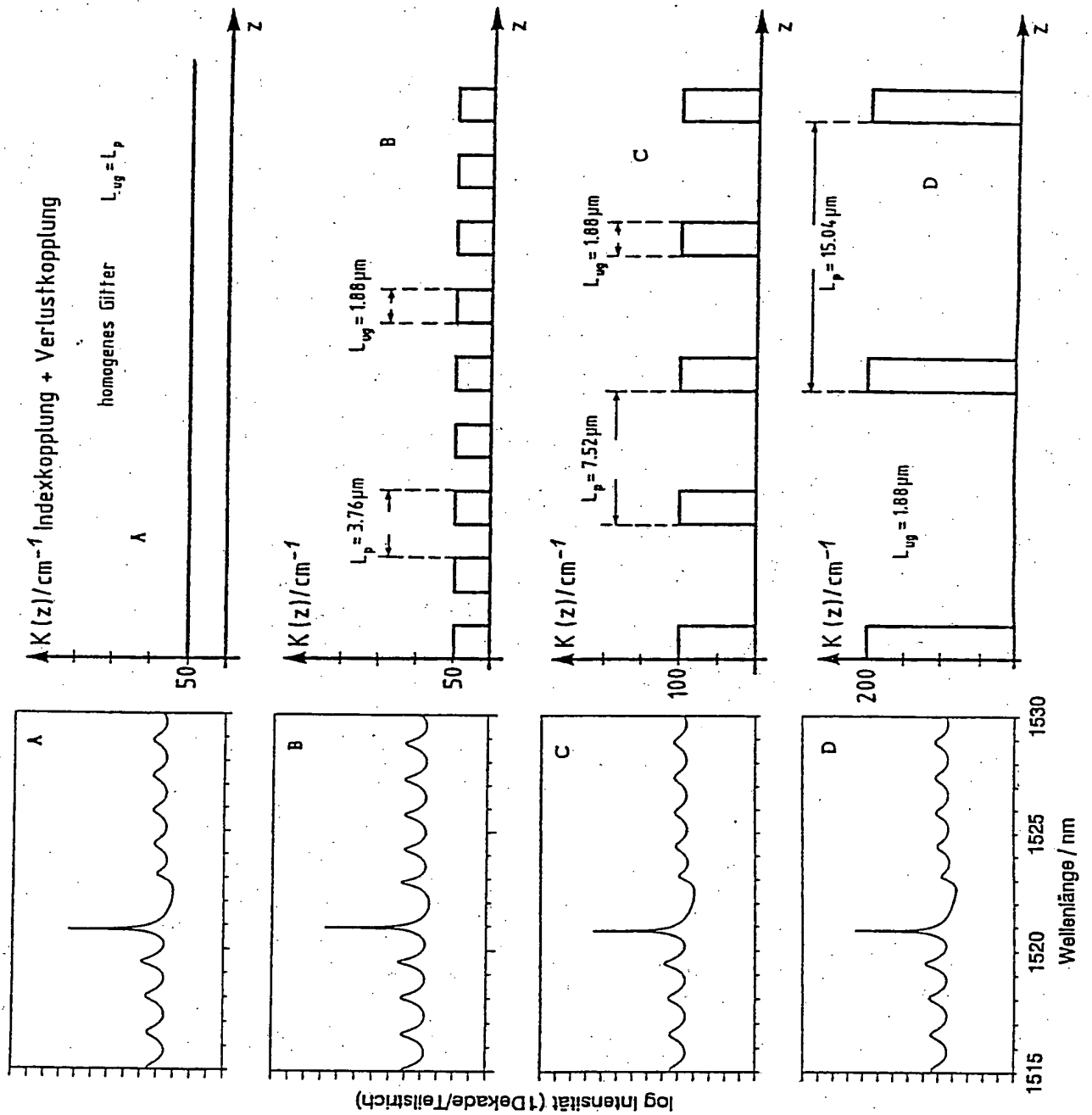


Fig.2

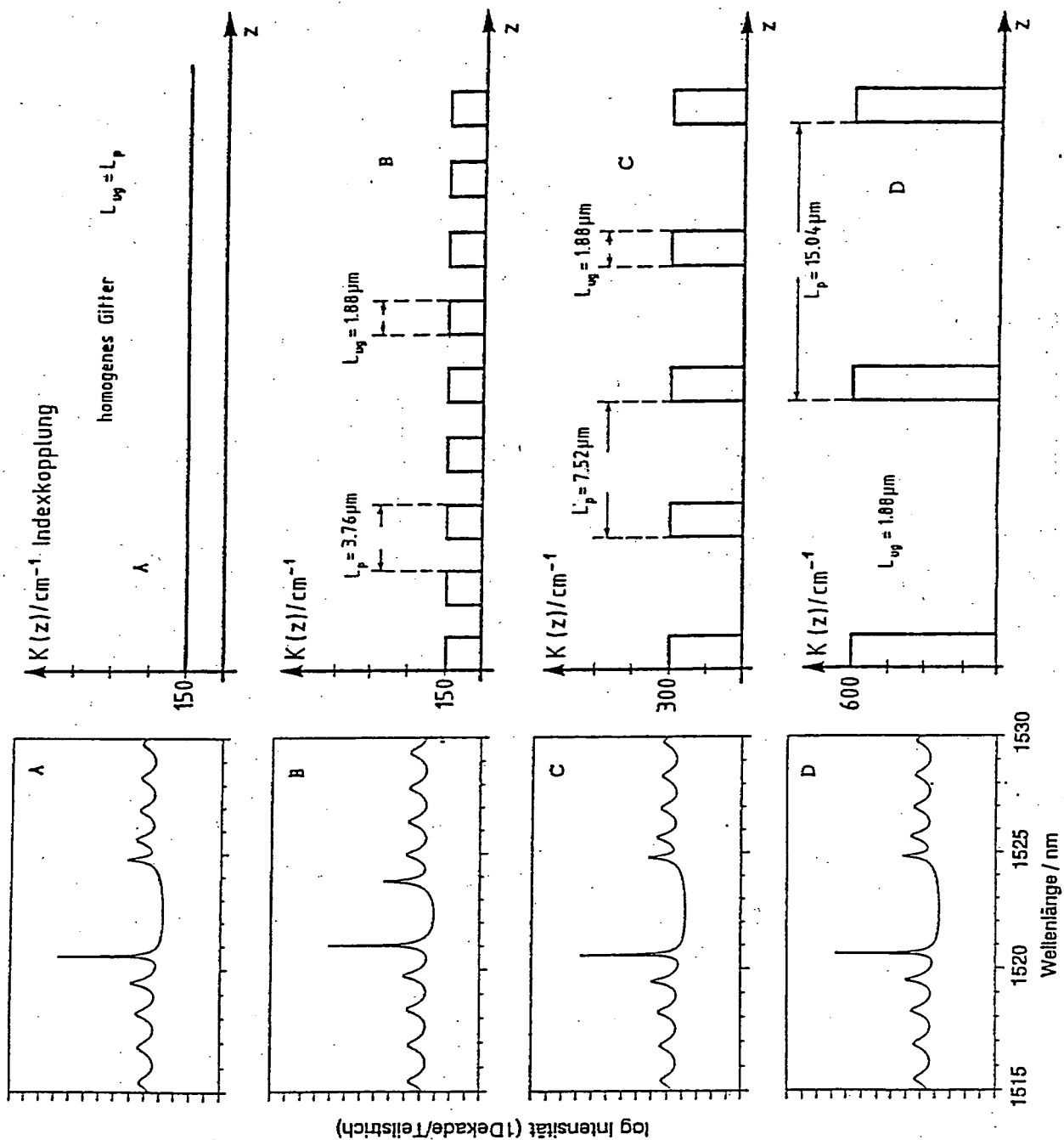


Fig. 3

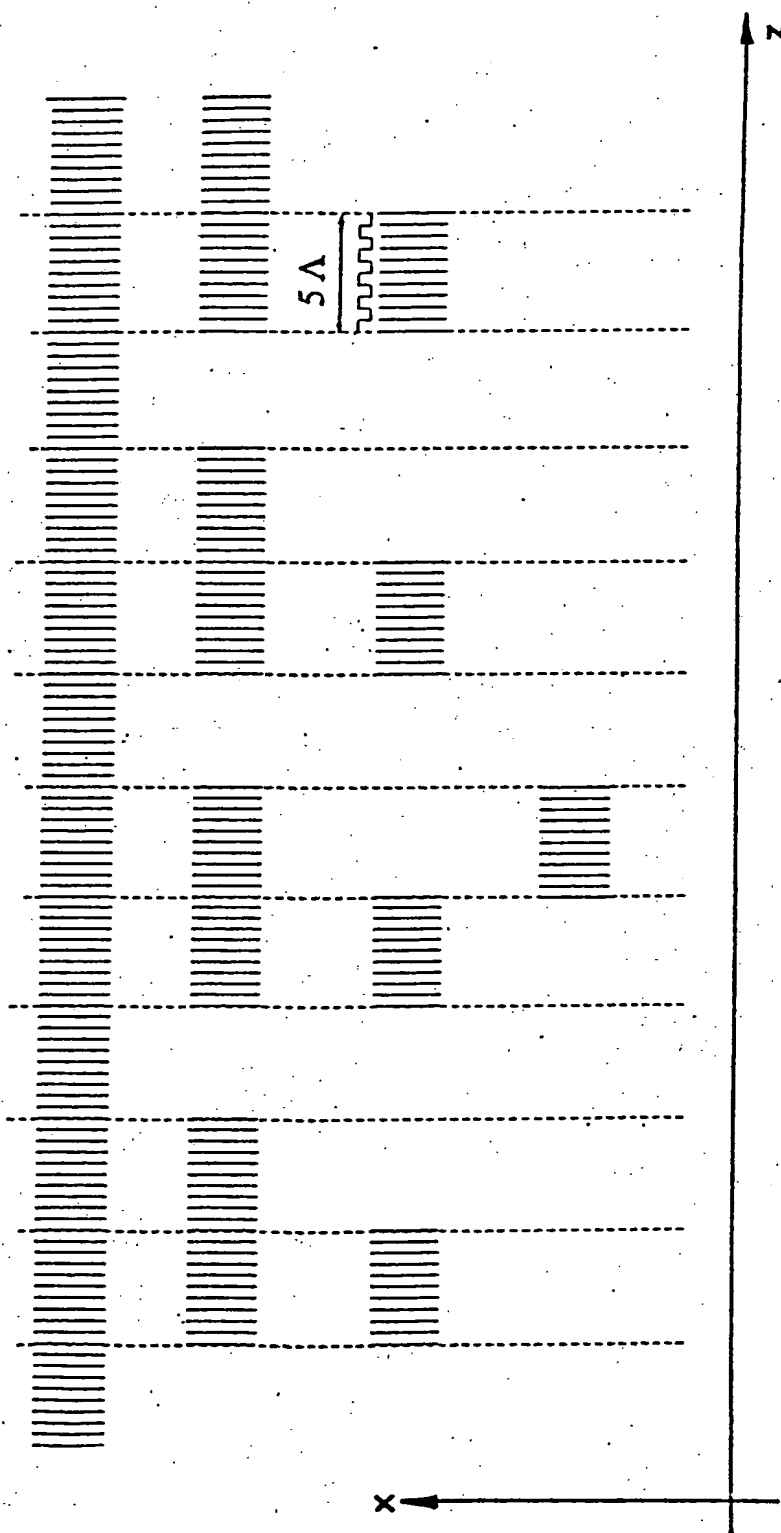


Fig. 4

Bezeichnung der Parameter	Werte der Parameter
Injektionsstrom	40 mA
Bauelementlänge	235,4 μm
w/Λ	0,5
n_{eff}	3,25
Temperatur	20 °C
Streuverluste	10 cm^{-1}
Λ	235 μm
differenzielle Verstärkung dg/dn	$3 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$
differenzieller Brechungsindex dN/dn	$-1,57 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^3$

Fig.5